
Universität Augsburg, Institut für Geographie

KARTOGRAPHISCHE DARSTELLUNGEN FÜR DIE VISUELLE VERKEHRSANALYSE AUF BASIS VON FLOATING CAR DATA (FCD) VON TAXIS

Andreas Keler

Zusammenfassung: In dieser Arbeit werden Floating Car Data (FCD) von Taxis in Shanghai visuell untersucht. Der Datensatz basiert auf Taxipositionen von etwa 8.000 Taxis, die innerhalb eines Tags (30.06.2010) beobachtet wurden. Grundlegende Eigenschaften vergleichbarer Datensätze werden allgemein in Bezug auf Erfassung und erreichbare Positionierungsgenauigkeit erklärt. Hierfür werden Konstellationen und Auswertemöglichkeiten von FCD genauer betrachtet. Aufgrund der Datenmenge werden bereits bekannte Verfahrensarten der FCD-Analyse vorgestellt, die sich für eine effiziente Verarbeitung eignen können. Hierzu gehören vor allem die unterschiedlichen Methoden des Map Matchings, was die Verknüpfung von FCD und Straßennetzwerkelementen beschreibt. In Bezug auf die Visualisierung von FCD mit Kartendarstellungen werden unterschiedliche Möglichkeiten vorgestellt. Dazu gehören neben Punktstreueungskarten auch interaktive Verkehrskarten für Verkehrsdienste sowie dreidimensionale Kartendarstellungen von Verkehr. Ausgehend von der elementaren Darstellung einer erfassten Taxiposition wird als erstes eine Punktstreueungskarte erzeugt. Da hier Überlappung (Cluttering) oft eine eingehende visuelle Analyse verhindert, wird ein digitalisiertes Straßennetz in die visuelle Untersuchung mit eingebracht. Mit der einfachsten und rechenintensivsten Methode des Map Matchings werden für jedes Straßensegment die Fahrzeugpositionen innerhalb bestimmter räumlicher und zeitlicher Intervalle gezählt. Anschließend können absolute oder durchschnittliche Werte aus den Positionen für jedes untersuchte Straßensegment berechnet werden. Hieraus entstehen Kartendarstellungen, die zum einen die Durchschnittsgeschwindigkeiten und zum anderen das Ausmaß der Verkehrsbelastung (Einführung einer „Staudetektionsgröße“) für jedes erzeugte Straßenpolygon beschreiben können. Die dritte Art der Visualisierung beruht auf der Extrusion von Straßenflächen in einer dreidimensionalen Kartenansicht, wobei das Maß für die Extrusion auf der Fahrzeugdichte beruht. Die drei verschiedenen Darstellungsarten werden am Ende gegenübergestellt und in Bezug auf ihre Nutzerfreundlichkeit hin verglichen.

Schlüsselwörter: Floating Car Data, Vorverarbeitung, Verkehrsvisualisierung, Verkehrsfluss, Big Data, Punktstreueungskarten

CARTOGRAPHIC REPRESENTATIONS FOR VISUAL TRAFFIC ANALYSIS BASED ON FLOATING CAR DATA (FCD) OF TAXIS

Abstract: In this work, Floating Car Data (FCD) of taxis in Shanghai is examined visually. The data set is based on observed taxi positions of about 8000 taxis operating within one day (30.06.2010). Basic properties of comparable datasets are explained in terms of acquisition and achievable accuracy. Therefore constellations and evaluation possibilities of FCD are considered more detailed. Due to the amount of this data type the known methods for FCD analysis are presented, which may be suitable for efficient processing. These include in particular the different methods of map matching, which describes the link between FCD and road network elements. Afterwards different possibilities for the visualization of FCD with maps are presented. In addition to dot maps there are as well interactive traffic maps for traffic services and three-dimensional traffic map displays. Based on the elementary representation of a taxi position a dot map is generated first. Since this goes ahead with overlapping points (cluttering) an efficient visual analysis is not possible. Therefore a digitized road network is introduced. The simplest and computationally most extensive method of map matching consists of simple counting of the vehicle positions within a generated road polygon. This is provided for certain spatial and temporal intervals of the inspected FCD set. Subsequently absolute or average values can be calculated from the taxi positions for each inspected road segment. This aspect results in map displays that can describe the average velocity. Another description may be the extent of the traffic congestion (introduction of a “congestion value”) for each generated polygon street. The third type of visualization is based on the extrusion of road surfaces in a three-dimensional map, where the extrusion value is based on the vehicle density. Finally the three different types of representation are compared in terms of their ease of use.

Keywords: Floating car data, preprocessing, traffic visualization, traffic flow, big data, dot maps

1 EINLEITUNG

In den vergangenen Jahren hat sich der Begriff Floating Car Data (FCD) für Datensätze von Fahrzeugen etabliert, die mit GNSS-Technologie erfasst werden. Aufgezeichnet werden dabei nicht nur die Position, sondern auch weitere Bewegungsdaten des Fahrzeugs, wie etwa Momentangeschwindigkeit, Beschleunigung oder Fahrtrichtung. Dies geschieht über ein sogenanntes Floating-Car-Device, was die Kombination von GNSS-Empfänger und Sensoren für die Erfassung der Fahrzeugelektronik (u. a. Tachometer, Drehzahlmesser, Taxameter) darstellt. Optional können je nach Ausführung des Floating-Car-Device auch Zustände von ABS, Außenthermometer, Regensensor, Warnblinker und anderen Sensoren erfasst werden (Breitenberger et al. 2004). Der letztendlich erzeugte Datensatz kann sowohl aus den erfassten Positionen eines Fahrzeugs oder auch einer Fahrzeugflotte (mehrere Fahrzeuge) bestehen, jeweils ergänzt mit den erwähnten zusätzlichen Angaben. Die erweiterten Datensätze werden mit dem Begriff Extended Floating Car Data (XFCD) umschrieben (Krampe et al. 2013, Huber et al. 1999). Die Antwort auf die Frage, warum vermehrt Taxiflotten diese Art von Massendaten liefern, resultiert aus einer Tatsache, die Lorkowski et al. (2003) als bereits verfügbare Kommunikationsinfra-

struktur beschreiben. Die Aussendung von Trackingdaten geschieht oft über Mobilfunk. Dies bedeutet jedoch, dass Kosten je beobachtetes Objekt anfallen. Die Höhe dieser Kosten ist abhängig von der Anzahl der Teilnehmer an der Beobachtung. Im Falle einer Taxiflotte wird die Information mit einem „Dispatchersystem“ ermittelt, was bedeutet, dass eine bereits verfügbare Kommunikationsinfrastruktur genutzt wird, ohne jegliche Zusatzkosten. Heutzutage gibt es eine Reihe von unterschiedlichen Anwendungsgebieten für FCD. Bei der Analyse solcher Daten gibt es unterschiedliche Betrachtungsweisen der untersuchten Aufzeichnung. In Fall der Modellierung einer makroskopischen Sicht auf die Verkehrslage werden beispielsweise die Fahrzeugpositionen mit bestimmten Straßenelementen assoziiert. Wenn es um die Untersuchung des Fahrverhaltens geht (Li et al. 2011, Liu et al. 2009), sind die einzelnen Trajektorien wichtiger, die auch als Polylinienelemente zwischen Anfangs- und Endpunkt dargestellt werden können. Die vier grundlegenden Elemente, die aus FCD abgeleitet werden können, werden in der Tabelle 1 mit ihrer jeweiligen Bedeutung und Beispieldarstellung gezeigt.

Je nach Nutzung der in Tabelle 1 aufgelisteten Elemente kann sich auch die Art der Modellierung ändern (Andrienko & Andrienko 2013). Wichtig ist in diesem Zu-

Autor

M. Sc. Andreas Keler
 Universität Augsburg
 Institut für Geographie
 Professur für Angewandte Geoinformatik
 Alter Postweg 118
 D-86159 Augsburg
 E: andreas.keler@geo.uni-augsburg.de

sammenhang das Element Trajektorie. Durch die Assoziation bestimmter Fahrzeugpositionen können einzelne Fahrten mit bestimmten Start- und Zielpunkten als einzelne Elemente betrachtet werden. Durch die Anbindung an eine Trajektorien-datenbank lassen sich raumzeitliche Analysen mit Online Analytical Processing (OLAP)-Methoden effizienter vornehmen, da interaktiv eine globale und lokale Sicht auf die Daten ermöglicht wird (Orlando et al. 2007, Leonardi et al. 2010). Die Untersuchung eines Trajektorienbündels erlaubt des Weiteren die Analyse von Interaktionen zwischen den bewegten Objekten (Long & Nelson 2012). Es ist auch zu be-

Element	Bedeutung	Beispieldarstellung
Punkt	Einzelner Positionsdatensatz	
Vektor	Zwei vom gleichen Fahrzeug in direkter zeitlicher Abfolge detektierte Positionen	
Trajektorie	Mehrere vom gleichen Fahrzeug in direkter zeitlicher Abfolge detektierte Positionen	
Trajektorienbündel	Überlagerung mehrerer Einzeltrajektorien auf gleichem Netzelement	

Tabelle 1: Möglichkeiten der FCD-Konstellationen nach Körner (2011)

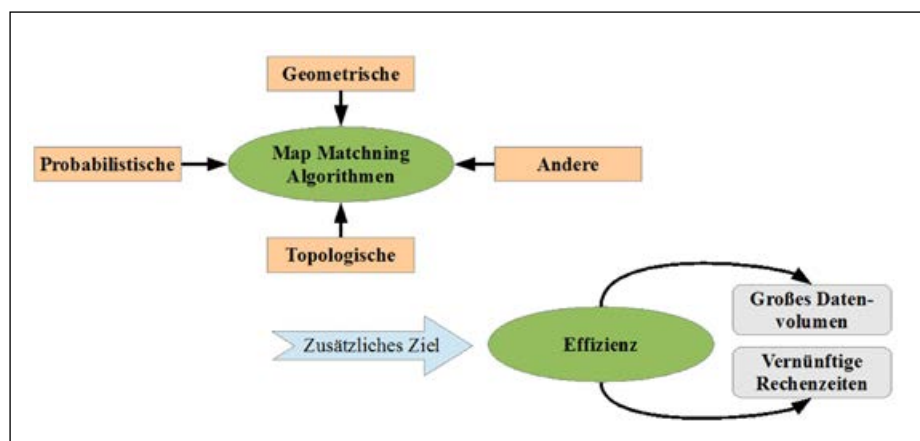


Abbildung 1: Gruppierung der einzelnen Algorithmen für Map Matching und Erklärung ihres gemeinsamen zusätzlichen Ziels (nach Zhao et al. 2012)

achten, dass eine Reihe von Arbeiten sich mit der interaktiven visuellen Darstellung von Trajektorien auseinandersetzen. Guo (2011) erzeugt beispielsweise verknüpfte Displays der mikroskopischen sowie makroskopischen Sicht auf FCD. Hieraus kann größerer Informationsgewinn gezogen werden, da bestimmte Muster des Verkehrsgeschehens schneller und eindeutiger feststellbar sind. Des Weiteren werden die Rohdaten, die die Fahrzeugpositionen enthalten, in Bezug zu einem digitalen Straßennetzwerk gesetzt. Dies ist notwendig, da die Positionierungsgenauigkeit um einige Meter schwanken kann. Oft findet man in einer Trajektorie desselben Fahrzeugs Sprünge in Raum und Zeit. In Bezug auf die Positionierungsgenauigkeit wird die zu erreichende Genauigkeit einer Pseudorange-Lösung von GNSS angenommen mit einer horizontalen Positionierungsabweichung von kleiner als 13 m in 95% aller Messungen (Zogg 2007). Zu beachten ist jedoch der GDOP (Geometric Dilution of Precision) und die Anzahl der verfügbaren GNSS-Satelliten innerhalb urbaner Gebiete, da hier oft hohe Gebäude eine Positionierung erschweren und es oft zum Signalverlust kommt. Dies kann als Messfehler klassifiziert werden. Die notwendige Genauigkeit von FCD kann abhängig vom gewünschten Endprodukt betrachtet werden. Hierfür hat das DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) in Berlin 2010 vier unterschiedliche Kategorien aufgestellt (Sohr et al. 2010). Eine höhere Positionierungsgenauigkeit im Vergleich zur Pseudorange-Messung lässt sich auch im Fall von FCD mit einer differenziellen GNSS-Lösung erreichen (Leduc 2008). Eine weitere Art

von Fehler ist der Samplingfehler. Für die Einhaltung einer höheren Genauigkeit kann man sagen, dass das zeitliche Messintervall, das oft auch als Samplingintervall bezeichnet wird, einen bestimmten Wert nicht überschreiten soll. Dieses wird von Sohr et al. (2010) als 60 Sekunden vorgegeben. Größere Messintervalle können in Bezug auf die Modellierung des Verkehrsgeschehens nicht mehr als genau angenommen werden. Dies lässt sich anschaulich betrachten, wenn zwei konsekutive Fahrzeugpositionen sich auf zwei unterschiedlichen Straßenelementen befinden und sich mehrere Möglichkeiten für die gefahrene Trajektorie ergeben (Zhao et al. 2012). Interessant ist vor diesem Hintergrund, dass die Anzahl der beobachteten Fahrzeuge in einem Untersuchungsgebiet weniger wichtig ist, da innerhalb großer Beobachtungsfenster hohe Laufstrecken möglich sind (Sohr et al. 2010). Dadurch kann selbst ein komplexes Straßennetzwerk innerhalb eines Tags recht gut abgefahren werden. Die eindeutige Verknüpfung von Fahrzeugpositionen und Straßennetzwerk werden mit Algorithmen des Map Matchings modelliert (Li et al. 2007). Diese können wie in Abbildung 1 gezeigt in mindestens vier Gruppen eingeteilt werden. Grundlegende Arten von Map Matching sind geometrische, topologische und probabilistische Verfahren. Außerdem kommen auch alternative Algorithmen zum Einsatz, die beispielsweise auf einer Kalman-Filterung beruhen. Nach Zhao et al. (2012) existieren mittlerweile weit über 35 verschiedene Verfahren für Map Matching.

Es ist zu erwähnen, dass trotz der grundlegenden Unterschiede der einzelnen

Verfahren des Map Matchings ein gemeinsames zusätzliches Ziel definiert werden kann. Dieses kann als Effizienz bezeichnet werden, da das gemeinsame Ziel die Verarbeitung großer Datenmengen (FCD) innerhalb einer vernünftigen Rechenzeit ist. Nach der Durchführung eines Map-Matching-Algorithmus wäre das optimale Ergebnis die eindeutige Zuweisung der Aufzeichnungen des FCD-Satzes (Ort und Zeit) zu bestimmten Straßensegmenten. Dies ermöglicht die weitere Modellierung des Verkehrsgeschehens, welches anschließend, ähnlich frei verfügbaren Verkehrskarten, visualisiert werden kann.

2 METHODISCHER HINTERGRUND DER VISUALISIERUNG VON VERKEHRSDATEN

Die Visualisierung von Verkehr kann auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen. Grundlegend gibt es aber zwei Varianten, die in Kombination miteinander eine dritte Variante ergeben können. Die wohl bekanntere Variante ist die kartographische Darstellung von Verkehr, da diese in täglich genutzten Online-Verkehrskarten vorkommt. Oft ist hier die Darstellung von Verkehr auf drei bis fünf qualitative Klassen beschränkt. Ein Beispiel dafür wäre der Layer „Live Traffic“ von Google Maps, dessen Datengrundlage von Smartphone-Nutzern generiert wird¹. Andere visuelle Darstellungsarten kommen aus dem Bereich der Verkehrsplanung und sind hauptsächlich Diagramme, die die Größen der Verkehrsflusstheorie zueinander in Beziehung setzen. Die wohl bekannteste Art der Darstellung aus diesem Bereich ist das Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm. Weitere bekannte Größen sind die Verkehrsdichte oder -rate. Ähnlich wie in kartographischen Darstellungsvarianten kann auch in der Verkehrsflusstheorie zwischen einem mikroskopischen und einem makroskopischen Verkehrsmodell unterschieden werden (Immers & Logghe 2002). Eine detaillierte kartographische Ansicht einzelner gefahrener Trajektorien von Fahrzeugen ist eine mikroskopische Ansicht und unterscheidet sich nach Andrienko & Andrienko (2013) von einer vogelperspektivischen Sicht auf Bewegung. In dieser Arbeit konzentriert sich die Visualisierung nicht auf einzelne Trajektorien, die das Fahrverhalten beschreiben, sondern auf eine globale kartographische Darstellung des Verkehrsgeschehens.

2.1 VISUALISIERUNG VON FCD DURCH PUNKTSTREUUNGS-KARTEN

Punktstreueungskarten werden traditionell für räumliche Bevölkerungsverteilungen (Bähr et al. 1992) und neuerdings auch -änderungen (Turner & Allen 2010) verwendet. Weitere Beispiele sind die Darstellungen von Epidemien und Verbreitungsgebiete bestimmter Spezies. Die Grundlage für die Form und Anzahl der verwendeten Punktesymbolik in diesen Karten kann anhand von bestimmten Regeln festgelegt werden. Die wohl wichtigste Regel ist dabei einzuhalten, dass keine Überlappung der Punktesymbole erfolgt. Heutzutage können Punktstreueungskarten auch automatisiert hergestellt werden (Hey 2013, Aschenbrenner 1989). Durch die Manipulation der verwendeten Punktegröße, -verteilung und -anordnung lassen sich unterschiedliche Wirkungen der Kartendarstellungen erreichen (Hey & Bill 2014). Punktstreueungskarten mit FCD als Grundlage können erstellt werden, benötigen jedoch eine vorherige quantitative Generalisierung (Aggregation) der FCD-Punkte. Eine einfachere Art der Kartenerstellung ist die Projektion der Fahrzeugpositionen auf eine Kartenansicht. Anschließend können die Punkte nach den Werten eines gewählten Attributs koloriert werden. Diese Art der Darstellung, die als Standortkarte bezeichnet werden kann, wird von Stanica et al. (2013) für einen FCD-Satz von Köln verwendet, wobei die

Momentangeschwindigkeit für jeden Punkt mit zwei Farben koloriert wurde (rot und blau). Dadurch lassen sich auf den ersten Blick die Verteilung von hohen und niedrigen Geschwindigkeiten innerhalb des Stadtgebiets erkennen. Schwierig ist es jedoch hier den Übergang zwischen hoher Geschwindigkeit (blau) und niedriger Geschwindigkeit (rot) festzustellen. In diesem Beispiel treten vor allem in zentralen Gebieten des Stadtkerns starke Überlappungen der Punktelemente auf. Dies findet man auch in Liu & Ban (2013), wo ebenfalls nach der Momentangeschwindigkeit koloriert wurde. Der Überlappungseffekt resultiert in diesem Beispiel aber auch aus der Tatsache, dass 11.000 Taxis innerhalb eines Tags untersucht wurden.

2.2 INTERAKTIVE VERKEHRSKARTEN FÜR VERKEHRSLAGEDIENSTE

Heutzutage sind Informationen von Verkehrslagediensten eine wichtige Quelle für die Planung von Transportvorhaben. Goldsberry (2005, 2008) vergleicht in seinen Studien die visuelle Aussagekraft von Verkehrskarten. Hierfür geht er auf die farbliche Darstellung der räumlichen Abbildung sowie die Legende ein. Eine andere Frage wäre die darzustellende Größe. Liu et al. (2012) führen beispielsweise jeweils drei Klassen der Durchschnittsgeschwindigkeit für drei unterschiedliche (Gruppen von) Straßentypen ein. Die Bereiche dieser Klassen unterscheiden sich teilweise recht stark,

abhängig davon, ob es sich um eine Autobahn, eine Bundesstraße oder Landstraße handelt. Im Fall von Liu et al. (2012) werden für die Verkehrskarte die Durchschnittsgeschwindigkeiten jeweils für beide Fahrrichtungen angegeben. Eine Vorgängervariante dieser Art der Visualisierung ist in Liu et al. (2008) zu finden, die für einen Verkehrslagedienst für die chinesische Stadt Shenzhen verwendet wird. In diesem Fall gibt es ebenfalls drei Durchschnittsgeschwindigkeitsklassen, die jedoch ohne Unterscheidung nach Straßentyp und Fahrtrichtung für alle Netzwerksegmente der Stadt verwendet werden. Diese Art von Karte tritt am häufigsten bei der Beschreibung des Verkehrsgeschehens auf und findet sich als Layer oder Dienst in frei verfügbaren Online-Karten wie beispielsweise von Google, Bing oder Yahoo. Häufig erfolgt hier nicht die Angabe von Durchschnittsgeschwindigkeiten, sondern eine qualitative Angabe zum Verkehrsstatus.

2.3 VERKEHRSBESCHREIBUNG MIT DREIDIMENSIONALEN DARSTELLUNGEN DURCH NUTZUNG VON EXTRUSION

Es existieren in unterschiedlichen Bereichen der Geographie und Geoinformatik räumliche Analysen von statischen Daten, welche die Methode der Extrusion verwenden. Grundlegend ist dabei, dass bestimmte Features, seien es Punkte, Flächen oder Linien, in ihrer Z-Komponente be-

Attributname	Beispielwert	Details
Datum	20100614	Achtstellige (8) Nummer
Fahrzeug ID	11692	Die eindeutige Identifikationsnummer des Fahrzeugs; in 5 Ziffernstellen
Firmenzeichen	QS	Initialen des Pinyin des Firmennamens
Längengrad	121.61365	In Grad [°]; bis zur sechsten Dezimalstelle
Breitengrad	31.201005	In Grad [°]; bis zur sechsten Dezimalstelle
Momentangeschwindigkeit	34.9	Auflösung: 0,1 [km/h]
Fahrtrichtung	255	Kurs von 0 bis 359 Grad [°], basierend auf der Orientierung des Fahrzeugs
Einsatzstatus	0	0 für unbesetzt; 1 für besetzt
GPS-Effektivität	0	1 für effektiv; andernfalls 0
Aufnahmedatum	2010-06-14	In der Form von YYYY-MM-DD
Aufnahmezeit	23:07:17	In der Form von hh:mm:ss

Table 2: Beschreibung der Datenstruktur der untersuchten Taxi-FCD von Shanghai

stimmte Attributwerte visualisieren. Logischerweise vollzieht sich diese Art der räumlichen Analyse innerhalb dreidimensionaler Displays. Zu beachten ist dabei, dass nicht der Raum dreidimensional abgebildet wird wie in 3D-Stadtmodellen, sondern es wird eine 2,5D-Ansicht erzeugt. Der zweidimensionale Raum wird durch eine Parallelverschiebung seiner Elemente um eine Dimension erhöht und enthält folglich keine Flächen, sondern dreidimensionale Körper. Beispiele für die Nutzung der Extrusion für Zwecke der räumlichen Analyse finden sich in Krisp & Fronzek (2003). Hier werden Werte zum Ausmaß von ökologischen Barrieren oder zur Bevölkerungsdichte in Bezug auf Flächenpolygone extrudiert. Ein weiteres Beispiel zeigt Shepherd (2008) mit der Verteilung von Frauen und Männern innerhalb ausgewählter Gebäude im Londoner Eastend aus dem Jahre 1881. In diesem Beispiel werden Kreise zu Zylindern extrudiert, die gleichzeitig anteilig koloriert sind nach der Verteilung der im Haus lebenden Männer und Frauen.

Bei der Extrusion von dynamischen Daten findet man häufig die Extrusion in Bezug auf Straßenpolygone oder -linien. Letzteres findet sich in den Streifenkarten von Tanaksaranond (2010). Die Zeitverzögerung aufgrund von Staus in London wird klassifiziert und mit einem Farbverlauf von Grün bis Rot dargestellt. Die Straßensegmente werden nach der Zeit extrudiert und enthalten für ein bestimmtes Straßensegment unterschiedlich gefärbte Streifen. Die Streifen sind übereinander angeordnet und repräsentieren jeweils fünf Minuten. Daraus lässt sich der Verkehrsstatus zu unterschiedlichen Zeiten einsehen. Grant et al. (2011) beschreiben absolute jährliche Verkehrsverzögerungen in Stunden gegenüber durchschnittlichen Reisezeiten anhand von extrudierten Straßensegmenten. Die Verkehrsverzögerungen werden als Differenz der Fahrtzeiten von 2006 und durchschnittlichen Fahrtzeiten für ein und dasselbe Untersuchungsgebiet durch Farbe und Extrusion dargestellt. Tominski et al. (2012) benutzen Extrusion für die Darstellung von zeitabhängigen Variablen von Trajektorien. In diesem Fall tritt ein und dieselbe Trajektorie mehrmals auf und bezieht sich auf eine oft gefahrene Route. Mit der „gestapelten“, vektorweisen Visualisierung, die im Englischen auch als „Stacked View“ oder „Tra-

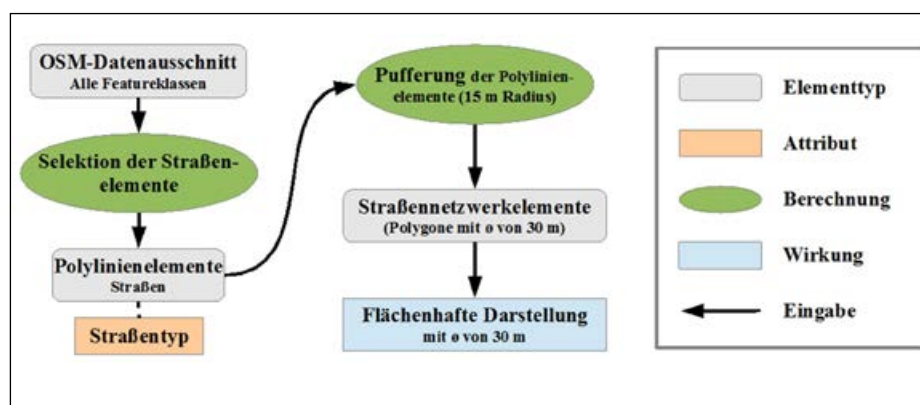


Abbildung 2: Ablaufdiagramm für die Erzeugung von flächenhaften Darstellungen für die aus OSM extrahierten Straßensegmente

jectory Wall“ bezeichnet wird, können bestimmte Muster innerhalb jeder gestapelten Trajektorie detektiert werden. Die Koloration der Vektoren einer Trajektorie kann auf unterschiedliche Art erfolgen. Es können zum Beispiel Trajektorienpartitionen nach Geschwindigkeitsklassen (Tominski et al. 2012) oder Kursdifferenzen (Andrienko & Andrienko 2013) eingefärbt werden. Zusätzlich können Richtungen durch Pfeilsymbolik beschrieben werden. Diese Betrachtungsweise, in der die Bestandteile eines Trajektorienelements untersucht werden, wird als eine eigene Kategorie für die Untersuchung von Bewegung mithilfe von Visual-Analytics-Methoden von Andrienko & Andrienko (2013) angeführt.

Eine andere dreidimensionale Darstellung des modellierten Verkehrs wird von Cheng et al. (2013) beschrieben. Hier werden Verkehrsverzögerungen (Zeitangaben) bestimmter Punkte an Straßenabschnitten interpoliert. Das Zwischenergebnis sind Isolinien, die den Verlauf der Verzögerungen innerhalb des Untersuchungsgebiets wiedergeben. Die interpolierten Verkehrsverzögerungen in bestimmten Bereichen des Verkehrsnetzes werden von Tanaksaranond (2010) ebenfalls mit Isolinien darge-

stellt. Die Erweiterung davon erfolgt ähnlich einer Tomographieaufnahme, in der die dritte Koordinate die Zeit darstellt. Schichtenweise wird für Intervalle von fünf Minuten jeweils eine Isolinienkarte für ein Untersuchungsgebiet erstellt. Das Endprodukt ist eine dreidimensionale Isoflächenansicht in einem Space-Time-Cube. Eine andere Variante wird von Liu & Ban (2013) eingeführt, bei der die Zeitverzögerungen (aufgrund von Staus) an bestimmten Straßensegmenten nach ihrer Quantität gleichzeitig eingefärbt sowie extrudiert werden. Dabei kommt Punktexttrusion zum Einsatz, da in diesem Fall das Straßennetzwerk zu Punkten segmentiert wurde.

3 BESCHREIBUNG DER VERWENDEN DATENSÄTZE: TAXI FLOATING CAR DATA UND OPENSTREETMAP

Für die kartographische Darstellung von FCD werden Rohdaten verarbeitet. Das Ergebnis dieser Vorverarbeitung ist letztendlich eine Karte, die den aktuellen Verkehr darstellen kann. Hierfür wird zuerst der rohe FCD-Satz von Taxis in Shanghai und anschließend eine digitale Abbildung des Straßennetzes von Shanghai auf Basis von OSM-Daten vorgestellt.



Abbildung 3: Straßensegmentpuffer in Shanghai

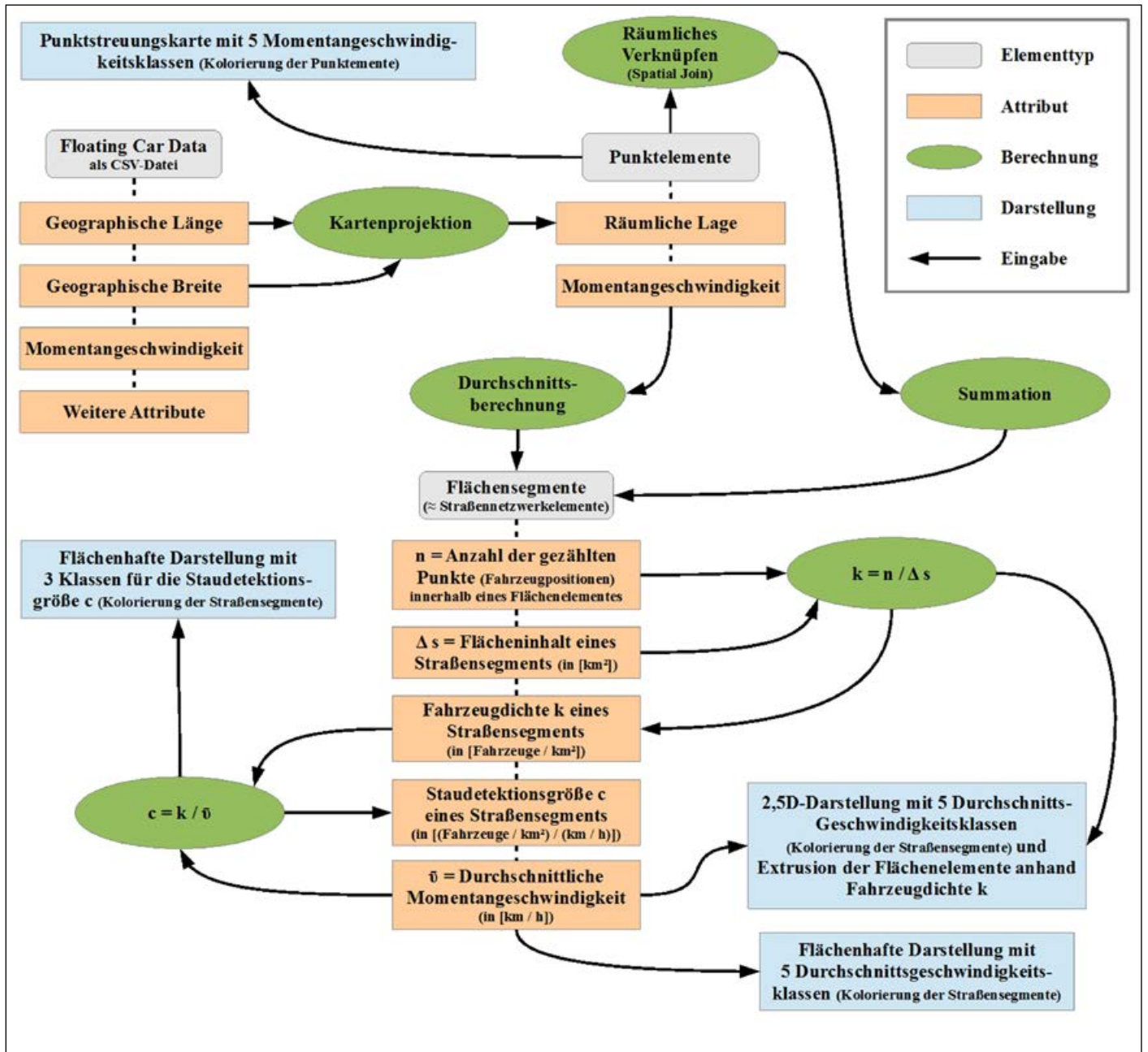


Abbildung 4: Arbeitsflussdiagramm für die Berechnung von ausgewählten Verkehrsgrößen anhand von Taxi-FCD

3.1 TAXI FLOATING CAR DATA VON SHANGHAI

Im Folgenden wird der untersuchte Floating-Car-Datensatz nach den verfügbaren Attributen in der Datenstruktur einer CSV-Datei vorgestellt. Comma-separated Values (CSV) kommt in den meisten Fällen von Floating Car Data von Taxis vor. Tabelle 2 zeigt neben dem Attributnamen in der ersten Spalte auch jeweils einen Beispielwert (zweite Spalte) und Details zur Form der Angabe (dritte Spalte).

Es ist zu erwähnen, dass nicht alle in Tabelle 2 gelisteten Attribute auch für den nachfolgend beschriebenen Ansatz ver-

wendet wurden. Wichtige Attribute für die visuelle Analyse des Verkehrsgeschehens sind neben Längen- und Breitengrad, auch die Momentangeschwindigkeit und die Aufnahmezeit. In Bezug auf die Aufnahmezeit lassen sich FCD-Partitionen gezielt nach dem chronologischen Ablauf auswählen.

3.2 MODIFIZIERTES STRASSENNETZ VON SHANGHAI

Die Grundlage, die für diese Arbeit genutzt werden, digitalisierten Straßenverkehrsnetzes sind Vektordaten aus dem OpenStreet Map(OSM)-Projekt. Durch Nutzung sogenannter „Data Extracts“² konnte das Ver-

kehrsnetz von Shanghai als eine bestimmte Anzahl an Polylinien extrahiert werden. Jedoch fehlte jegliche Information über die durchschnittliche Straßenbreite (Durchmesser) der modellierten Straßensegmente. Für Testzwecke wurde für alle Straßentypen, die im OSM-Projekt beschrieben werden³, eine durchschnittliche Breite von 30 Metern eingeführt. Dies bedeutet, dass jeweils links und rechts der ursprünglichen Polylinienelemente Puffer von 15 Meter angehängt werden. Demnach entstehen Flächensegmente. Dieser Zusammenhang wird ebenfalls in der Abbildung 2 mit einem Ablaufdiagramm dargestellt.

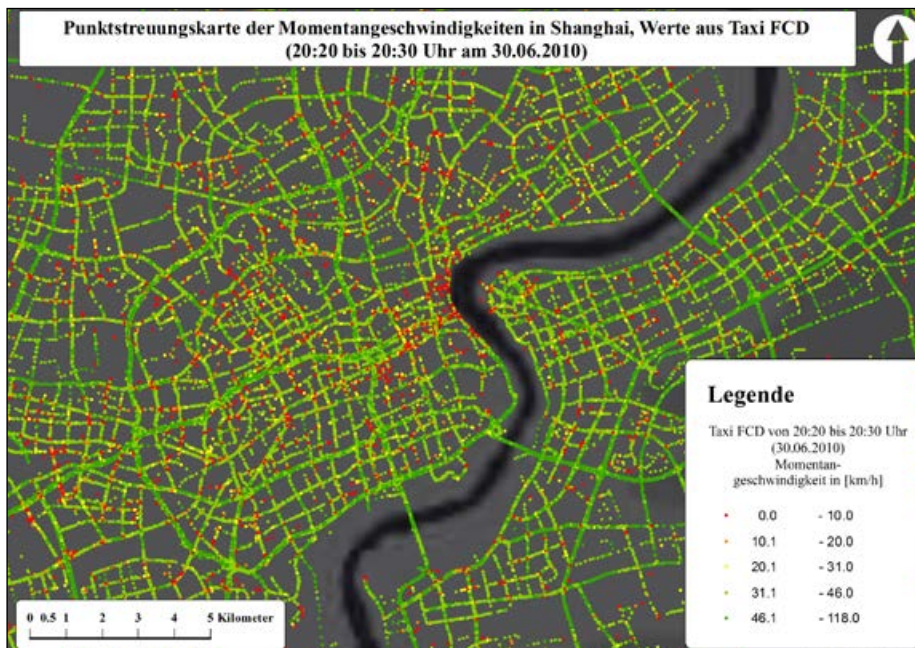


Abbildung 5: Punktstreuungskarte der Momentangeschwindigkeiten

Wie das Diagramm in Abbildung 2 zeigt, werden aus Linienelementen Flächenpolygone erzeugt, die in der Kartendarstellung die Straßenflächen repräsentieren. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird jedoch in unserem Fall nicht nach dem Straßentyp unterschieden und alle Straßennetzwerksegmente haben dieselbe Breite. Dies lässt sich in Abbildung 3 erkennen, wo ein Ausschnitt von Shanghai gezeigt wird. Der Hintergrund dieser Abbildung besteht aus einer Satellitenbilddaufnahme und im Vordergrund werden die flächenhaft dargestellten Straßennetzwerkelemente gezeigt.

In Abbildung 3 ist zu erkennen, dass besonders in den Bereichen der Kreuzungen starke Überlappungen der gepufferten Straßenelemente auftreten. Dies ergibt sich aus der Tatsache, dass die ursprünglichen Linienelemente die Position der Mittellinie wiedergeben und es im Falle von mehreren Fahrstreifen zu Überlappungen kommt.

4 METHODE FÜR DIE BERECHNUNG VON VERKEHRSGRÖSSEN FÜR FLÄCHENHAFTE STRASSENSEGMENTE

Der Arbeitsablauf für die Erstellung von unterschiedlichen Karten für die Verkehrsbeschreibung anhand von FCD wird in Abbildung 4 beschrieben.

In Abbildung 4 wird gezeigt, wie ausgehend von der Projektion einer jeden Position der Fahrzeuge Punkte generiert wer-

den, die die Grundlage für Punktstreuungskarten sind. Die farbliche Darstellung der Punktelemente in der Karte basiert auf der Klassifikation der Momentangeschwindigkeit in fünf Klassen. Die Ableitung einer Flächensegmentkarte geht ebenfalls von Punkten aus. Es wird räumliches Verknüpfen („Spatial Join“) angewendet, womit der Schritt beschrieben wird, in dem die FCD-Punkte innerhalb bestimmter Straßenpolygone gezählt werden. Basierend auf den in Abschnitt 3.2 beschriebenen, gepufferten Straßennetzwerkelementen, können die

Rechenschritte Summation und Durchschnittsbildung aller Punkte durchgeführt werden. An die Geometrie der Straßensegmente werden fünf Attribute angehängt, wovon eines durch den Spatial Join (räumliches Verknüpfen) und die anderen durch Berechnung entstehen. Diese Attribute können für eine Visualisierung genutzt werden. Die Straßensegmente können abschließend fünf verschiedene Größen beschreiben. Basierend auf dem jeweiligen Flächeninhalt eines Flächensegments kann die Fahrzeugdichte beschrieben werden. Eine weitere Größe ist die Durchschnittsgeschwindigkeit, die als Mittel der Momentangeschwindigkeiten aller gezählten Punkte berechnet wird. Außerdem kann eine Abschätzung des Verkehrsaufkommens im Untersuchungsgebiet gemacht werden mit den Werten der Staudetektionsgröße c . Die Idee hinter dieser eingeführten Größe ist die Erzeugung einer Ansicht ähnlich einer gewöhnlichen Online-Verkehrskarte (siehe Abschnitt 2.2). Es werden drei qualitative Werte (hoch, mittel, niedrig) für c eingeführt, die anhand der Häufigkeitsverteilung der berechneten Werte ermittelt werden. Hierfür wird das Histogramm für c nach natürlichen Brüchen (Grenzen) untersucht. Die Klassifikation kann jedoch auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen und wird im Folgenden nur auf Grundlage der Häufigkeitsverteilung der berechneten Werte der Straßensegmente bestimmt. Wie in Abbildung 4 an den blauen Rechte-

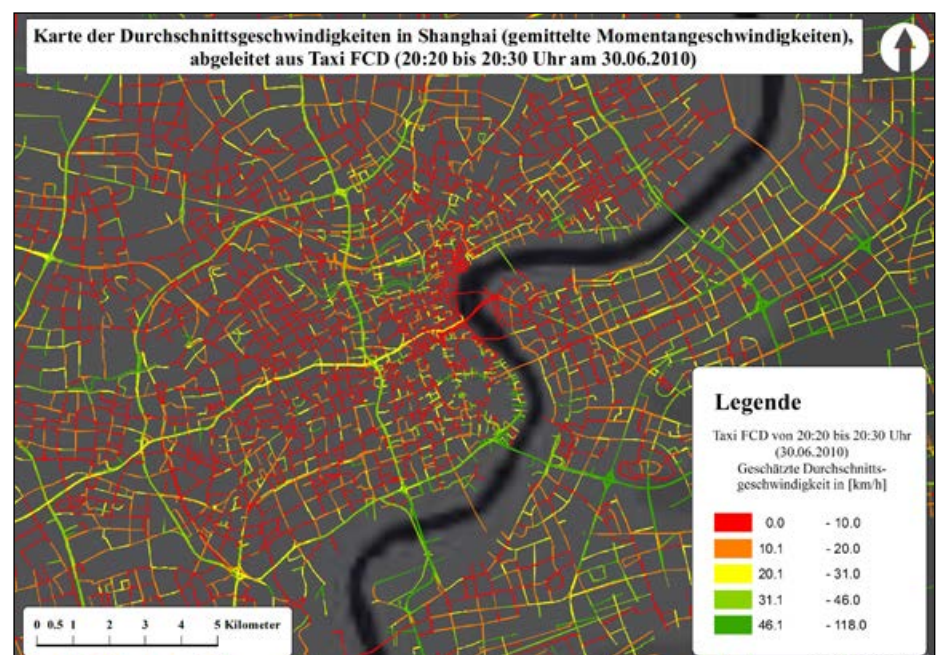


Abbildung 6: Karte der Durchschnittsgeschwindigkeiten in Shanghai

ecken zu erkennen ist, werden im Folgenden vier unterschiedliche Kartenansichten aus dem gegebenen FCD-Satz erzeugt.

5 ERGEBNISSE FÜR DIE VERKEHRS-VISUALISIERUNG DER FCD VON SHANGHAI

Im Folgenden werden die Visualisierungsergebnisse für bestimmte Ausschnitte des Taxi-FCD-Satzes von Shanghai vorgestellt und eingehend besprochen. Hierbei richtet sich der Blick auf die zu erreichende Anschaulichkeit und Übersichtlichkeit der Visualisierungsergebnisse und die Benutzerfreundlichkeit für einen möglichen Nutzer dieser Darstellungen.

5.1 DARSTELLUNG DER MOMENTANGESCHWINDIGKEIT VON FCD DURCH PUNKTE

Die wohl einfachste Form der visuellen Darstellung von Taxi-FCD ist die Einfärbung der Punktelemente nach definierten Attributklassen. Die Idee dahinter ist es, mögliche Muster der Punkteverteilung zu erkennen, ähnlich einer Punktstreuungskarte. Diese Art der Darstellung kann streng genommen nicht als Punktstreuungskarte bezeichnet werden, da keine Aggregation der Punkte durchgeführt wird. Folglich ist die Darstellungsart eine Standortkarte und für FCD-Visualisierung eher ungeeignet. Der Grund dafür ist die visuelle Überlappung der eingefärbten Punkte, da die Bewegung von Fahrzeugen auf ein Straßennetzwerk beschränkt ist. Durch vorhergehende Tests wurde festgestellt, dass schon ein Ausschnitt vom ganzen Untersuchungsgebiet für ein Zeitfenster von einer Minute große Überlappungen aufweist, vor allem im Zentrum Shanghais. In Abbildung 5 wird ein FCD-Ausschnitt von 10 Minuten dargestellt.

In Abbildung 5 ist zu erkennen, dass eine große Überlappung der visualisierten Fahrzeugpositionen auftritt. Dadurch lassen sich einige Werte nicht erkennen, besonders nicht im Zentrum von Shanghai.

5.2 DARSTELLUNG VON VERKEHRSGRÖSSEN MIT FLÄCHENHAFTEN STRASSESEGMENTEN

Eine Erweiterung der Punktstreuungskarte geht aus der räumlichen Verknüpfung (Matching) von Punkten, die die Taxipositionen repräsentieren, und Straßennetzwerksegmenten hervor. Da eine mehr oder weniger große Fläche aus je einem Linienelement

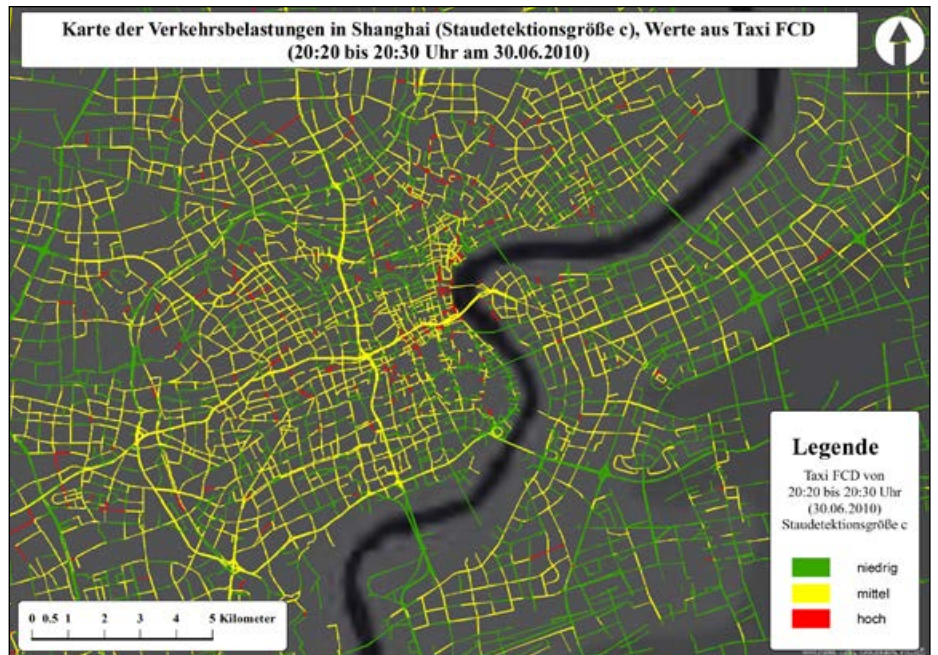


Abbildung 7: Karte der Verkehrsbelastungen in Shanghai

erzeugt wird (siehe Abbildung 3), kann eine bestimmte Anzahl von Taxipositionen innerhalb dieser Flächen gezählt werden. Diese absolute Anzahl von Punkten wird als Attribut n eines neuen Polygonelements abgespeichert. Durch eine Mittelung der Momentangeschwindigkeiten aller gezählten Punkte kann das Attribut Durchschnittsgeschwindigkeit \bar{v} berechnet werden. Über eine Einteilung in fünf Klassen der Durchschnittsgeschwindigkeit \bar{v} , können alle untersuchten Straßensegmente danach koloriert werden. Durch die Verwendung von Flächensegmenten mit 30 m Breite soll garan-

tiert werden, dass die Positionierungsgenauigkeit (des GNSS-Devices) mitberücksichtigt wird. Diese wird für unser Untersuchungsgebiet mit einer Positionierungsabweichung von etwa 13 m angenommen, wobei Signalverlust wegen hohen Gebäuden noch hinzukommt. Das heißt, dass etwa große Koordinatensprünge automatisch unberücksichtigt bleiben. Folglich bleiben die Fahrzeugpositionen außerhalb der Segmentflächen unberücksichtigt. Zu beachten ist auch, dass Fehlzuordnungen an den Rändern der Segmente (vor allem bei großen Flächenverscheidungen) vorkommen. In

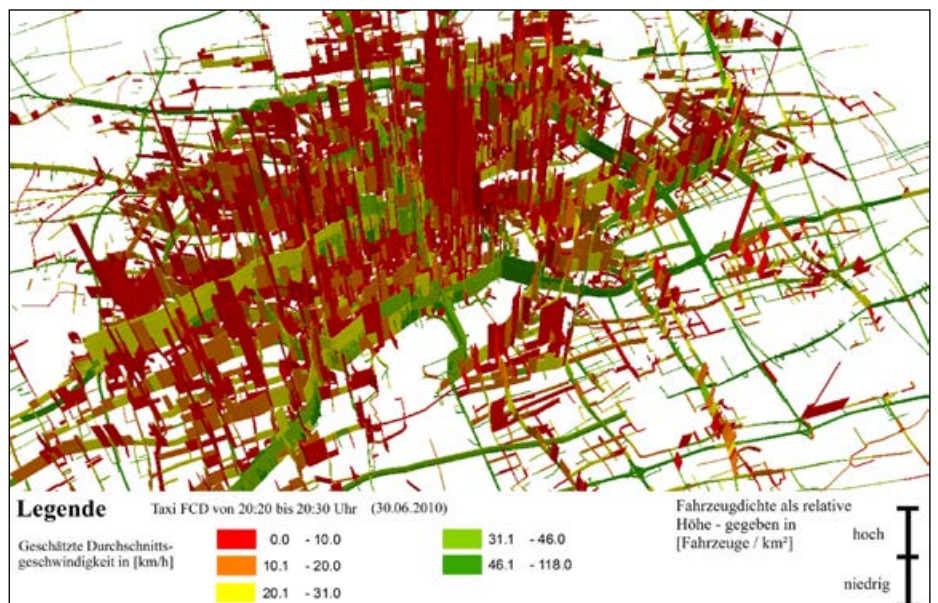


Abbildung 8: Dreidimensionale Kartendarstellung des Verkehrsaufkommens in Shanghai

Abbildung 6 wird eine FCD-Partition von 10 Minuten für eine Kartendarstellung der Durchschnittsgeschwindigkeit \bar{v} verwendet.

Die Einführung einer Staudetektionsgröße ergibt sich, wie schon erwähnt, aus bereits etablierten interaktiven Online-Verkehrskarten. Hier wird oft nicht nur die Verkehrsgeschwindigkeit (Liu et al. 2012) genutzt, sondern auch qualitative Angaben (Liu et al. 2008, Goldsberry 2008). Für Sun et al. (2009) gehören Geschwindigkeit, Volumen und Dichte zu den klassischen Parametern für die Beschreibung von Verkehrsbelastung. Diese Parameter können den multidimensionalen Charakter von Stau nicht gänzlich wiedergeben. Deshalb führen Sun et al. (2009) fünf Maße ein, die Stauaufkommen noch genauer definieren. Hierzu gehören Stauintensität, räumliche und zeitliche Verteilung, Frequenz der Staubildung und Staubeständigkeit. Es ergeben sich jedoch verschiedene Möglichkeiten, Stau zu detektieren.

In unserem Fall wird nun anhand der in Abbildung 4 beschriebenen Verkehrsgrößen (k , \bar{v}) eine weitere Größe definiert, die das abgebildete Verkehrsgeschehen qualitativ abbilden sollte. Im Diagramm in Abbildung 4 wird die Berechnung dieser Größe anhand einer Formel beschrieben. Für die Definition der drei resultierenden qualitativen Werte von c , wird die jeweilige Häufigkeitsverteilung des berechneten Werts aller untersuchten Straßensegmente betrachtet und in drei Klassen eingeteilt. Anhand der Verteilung dieser Werte werden

charakteristische Wertegrenzen gesetzt. Da in unserem Falle Datenpartitionen von ungefähr zehn Minuten genutzt werden, sollte man bei einem Vergleich der Größe c zwischen zwei Zeitfenstern die gleichen Wertegrenzen festlegen. Abbildung 7 zeigt ein Beispiel für die Darstellung der Staudetektionsgröße c mit drei qualitativen Größen.

In Abbildung 7 ist zu erkennen, dass die Autobahnelemente außerhalb des Stadtkerns recht wenig von Stau belastet sind. In den zentralen Bereichen der Stadt ist der Einfluss von Stau feststellbar. Hohes Stauaufkommen findet man an verschiedenen Anschlussstraßen zu Autobahnen und hauptsächlich im Stadtzentrum. Die Kombination von Fahrzeugdichte und Durchschnittsgeschwindigkeit zu einer Staudetektionsgröße ist eine Möglichkeit, eventuelle Stauvorkommen zu detektieren. Um die Proportion dieser zwei Größen zueinander einzusehen, eignet sich eher eine dreidimensionale Kartenansicht.

5.3 DARSTELLUNG DER DURCHSCHNITTSGESCHWINDIGKEIT UND DER FAHRZEUGDICHTEN MIT EXTRUDIERTEN FLÄCHENHAFTEN STRASSESEGMENTEN

Für die Darstellung von mehreren Attributen innerhalb zweidimensionaler Karten sind die Möglichkeiten limitiert. Beispiele für solche Möglichkeiten wären nach Geschwindigkeitsklassen eingefärbte Straßensegmente (Flächen) mit der Kombination von

klassifizierter Fahrzeugdichte, die als variierende Punktstreuung über den Straßensegmenten dargestellt wird. Eine andere Variante der Darstellung von zwei Attributen ist die Nutzung von extrudierten Flächenelementen, wie schon im Abschnitt 2.3 beschrieben. In unserem Fall wird neben der farblichen Darstellung der Geschwindigkeit für jedes Straßensegment auch die Fahrzeugdichte dargestellt. Die Z-Komponente wird dabei mit der berechneten Fahrzeugdichte assoziiert und anschließend in der Kartendarstellung entsprechend angepasst.

Wie in Abbildung 8 zu erkennen ist, handelt es sich um eine interaktive Kartenansicht, die nach Belieben verändert werden kann. Bei übermäßiger Überlappung kann eine isometrische Normalprojektion Abhilfe schaffen, die es erlaubt, die Extrusion nach der Fahrzeugdichte k noch genauer abzuschätzen.

6 DISKUSSION

Für den Vergleich zwischen den drei Visualisierungsmöglichkeiten Punktstreuung, flächenhafte Straßensegmente und extrudierte flächenhafte Straßensegmente wird Tabelle 3 eingeführt.

Eine Einsicht in gemessene Geschwindigkeitswerte hat man mit der Punktedarstellung in der zweiten Spalte in Tabelle 3. In dieser Darstellungsvariante ist es möglich, die Momentangeschwindigkeit abzubilden, wie es schon in den Abschnitten 2.1 und 5.1 erklärt wurde. Gleichzei-




Darstellung	Punkte	Flächenhafte Straßensegmente	Extrudierte flächenhafte Straßensegmente
Geschwindigkeit v und Fahrzeugdichte k gleichzeitig darstellbar	Nein	Nein	Ja
Überlappung/ Clutter-Effekt	Ja	Ja	Ja
Darstellung von momentanen Messwerten möglich	Ja	Nein	Nein
Beispieldarstellung			

Tabelle 3: Vergleich zwischen den drei Visualisierungsmöglichkeiten Originalpunkte, flächenhafte Straßensegmente und extrudierte flächenhafte Straßensegmente

tig ergeben sich hier die größten Überlappungen von allen drei vorgestellten Visualisierungsmöglichkeiten. Die gleichzeitige Darstellung von Geschwindigkeit und Fahrzeugdichte ist bei der Punktstreuungskarte sowie bei der zweidimensionalen Flächensegmentkarte nicht möglich.

Wie die drei Karten in Kapitel 5 gezeigt haben, gibt es mehrere Vor- und Nachteile der statischen Darstellung von FCD. Die Variante aus Abschnitt 5.2, die nur die Durchschnittsgeschwindigkeit in fünf Klassen wiedergibt, enthält beispielsweise viele sich überlappende Elemente. In Tabelle 3 sieht man eine Beispieldarstellung von flächenhaften Straßensegmenten in der dritten Spalte. Diese überlappen sich in einer Weise, dass ein Teilelement mit ungewöhnlich niedrigen Geschwindigkeiten nicht zu sehen ist. Das wird mit der Visualisierungsvariante aus Abschnitt 5.3 gelöst, da zusätzlich die Fahrzeugdichte als Extrusion dargestellt wird. Das kleine rot gefärbte Straßensegment ist nun wieder sichtbar.

7 AUSBLICK

Es hat sich durch zahlreiche vorhergehende Arbeiten gezeigt, dass sich die Visualisierung von FCD als schwierig erweist. Die in diesem Beitrag beschriebene Variante der Aggregation von FCD-Informationen kann als die am häufigsten vorkommende Methode für die Verarbeitung dieser Art von Daten gesehen werden. Wie schon in Andrienko & Andrienko (2013) beschrieben, handelt es sich um eine makroskopische Untersuchung von Bewegung („Bird’s eye on movement“), da gleichzeitig tausende sich bewegende Fahrzeuge untersucht werden. Mit dem Wechsel der Modellierungsvariante zu einer mikroskopischen könnte das Fahrverhalten einzelner Taxifahrer untersucht werden, wie es vereinzelt schon gemacht wurde (Li et al. 2011). In Bezug auf die Art der Visualisierung wäre eine Evaluierung unterschiedlicher Kartendarstellungen ein und desselben FCD-Satzes sinnvoll. Die Qualität der Ergebnisse könnte durch die Abschätzung der Nutzer-

freundlichkeit erfolgen. Hierfür ist es wichtig zu erfahren, wie stark die Assoziation von Verkehrsgeschehen in bestimmten Kartendarstellungen bei einzelnen Nutzern ist. Nach dieser Art von Evaluierung könnte eine Aussage getroffen werden, welche Kartendarstellungsarten für die Visualisierung von FCD geeignet und welche nicht sinnvoll sind. Eine weitere zu untersuchende Möglichkeit für die Visualisierung von FCD wäre der Space-Time-Cube (STC). Raumzeitliches Clustering von FCD (Krisp et al. 2012) könnte die Grundlage für die Ableitung spezieller Verkehrsinformationen sein, die gezielt visuell dargestellt werden können. Ein Beispiel dafür wäre die Detektion von raumzeitlichen Hotspots.

¹ <http://googleblog.blogspot.de/2009/08/bright-side-of-sitting-in-traffic.html>
² <http://download.geofabrik.de/asia/china.html>
³ <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Key:highway>

Literatur

Andrienko, N.; Andrienko, G. (2013): Visual analytics of movement: an overview of methods, tools, and procedures. In: Information Visualization, 12 (1), S. 3-24.

Aschenbrenner, J. (1989): Die EDV-unterstützte Herstellung von Punktstreuungskarten auf der Basis kleinster Bezugseinheiten. Berichte und Informationen, 16. Institut für Kartographie, Wien.

Bähr, J.; Jentsch, C.; Kuls, W. (1992): Bevölkerungsgeographie. Lehrbuch der Allgemeinen Geographie, 9. De Gruyter, Berlin.

Breitenberger, S.; Grüber, B.; Neuherz, M. (2004): Extended Floating Car Data – Potenziale für die Verkehrsinformation und notwendige Durchdringungsraten. In: Straßenverkehrstechnik, 10, S. 522-531.

Cheng, T.; Tanaksaranond, G.; Brunsdon, C.; Haworth, J. (2013): Exploratory visualisation of congestion evolutions on urban transport networks. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 36, S. 296-306.

Goldsberry, K. (2005): Limitations And Potentials Of Real-Time Traffic Visualization For Wayfinding. Proceedings of the 22nd ICA/ACI International Cartographic Conference, A Coruna, Spain, July 9-16, 2005.

Goldsberry, K. (2008): GeoVisualization of Automobile Congestion. Proceedings of the AGILE 2008 Conference: GeoVisualization of Dynamics, Movement and Change, Girona, Spain, May 5, 2008.

Grant, M.; Day, M.; Winick, R.; Chavis, A.; Trainor, S.; Bauer, J. (2011): Showcasing Visualization Tools in Congestion Management. Federal Highway Administration (FHWA), U.S. Department of Transportation (its.dot.gov).

Guo, H.; Wang, Z.; Yu, B.; Zhao, H.; Yuan, X. (2011): TripVista: Triple Perspective Visual Trajectory Analytics and its application on microscopic traffic data at a road intersection. In: Di Battista, G.; Fekete, J-D.; Qu, H. (Eds.): Proceedings of the Pacific Visualization Symposium 2011 (PacificVis 2011), IEEE, Session 5: Space and Time, S. 163-170.

Hey, A. (2013): Gestaltungsspielraum bei der automatischen Generierung von Punktkarten. In: gis.SCIENCE, 1/2013, S. 15-25.

Hey, A.; Bill, R. (2014): Placing dots in dot maps. In: International Journal of Geographical Information Science, 28 (12), S. 1-19.

- Huber, W.; Lädke, M.; Ogger, R. (1999): Extended Floating-Car-Data for the Acquisition of Traffic Information. Proceedings of 6th World Congress on Intelligent Transport Systems (ITS), Toronto, Canada, November 8-12, 1999.
- Immers, L. H.; Logghe, S. (2002): Traffic Flow Theory. Course H 111, Verkeerskunde Basis, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Section Traffic and Infrastructure, Katholieke Universiteit Leuven.
- Körner, M. (2011): Nutzungsmöglichkeiten von Floating Car Data zur Verkehrsflussoptimierung. In: Strobl, J.; Blaschke, T.; Griesebner, G. (Eds.): *Angewandte Geoinformatik 2011. Beiträge zum 23. AGIT-Symposium Salzburg*. Wichmann, Berlin/Offenbach, S. 381-386.
- Krampe, S.; Leitinger, S.; Pucher, G.; Rehl, K. (2013): FCD Modellregion Salzburg: Einsatz und Nutzen von Extended Floating Car Data im Bundesland Salzburg. In: Strobl, J.; Blaschke, T.; Griesebner, G.; Zagel, B. (Eds.): *Angewandte Geoinformatik 2013. Beiträge zum 25. AGIT-Symposium Salzburg*. Wichmann, Berlin/Offenbach, S. 450-455.
- Krisp, J. M.; Fronzek, S. (2003): Visualising thematic spatial data by using the third dimension. Proceedings of ScanGIS'2003 – The 9th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Science.
- Krisp, J. M.; Polous, K.; Peters, S.; Fan, H.; Meng, L. (2012): Getting in and out of a taxi: spatio-temporal hotspot analysis for floating taxi data in Shanghai. Conceptual paper – 6th International Symposium "Networks for Mobility", September 27/28, 2012.
- Leduc, G. (2008): Road Traffic Data: Collection Methods and Applications. Working Papers on Energy, Transport and Climate Change N. 1, JRC Technical Notes, European Commission, Joint Research Centre (JRC), Institute for Prospective Technological Studies (IPTS), EUR Number: Technical Note: JRC 47967.
- Leonardi, L.; Marketos, G.; Frentzos, E.; Giatakos, N.; Orlando, S.; Pelekis, N.; Raffaetà, A.; Roncato, A.; Silvestri, C.; Theodoridis, Y. (2010): TWarehouse: Visual OLAP Analysis on Trajectory Data. In: Proceedings of the 26th IEEE International Conference on Data Engineering (ICDE), S. 1141-1144.
- Li, B.; Zhang, D.; Sun, L.; Chen, C.; Li, S.; Qi, G.; Yang, Q. (2011): Hunting or Waiting? Dis-
- covering Passenger-Finding Strategies from a Large-scale Real-world Taxi Dataset. In: 2011 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), MUCS 2011; 8th IEEE International Workshop on Managing Ubiquitous Communications and Services, Managing Contexts, S. 63-68.
- Li, X.; Li, M.; Shu, W.; Wu, M. (2007): A practical map-matching algorithm for GPS-based vehicular networks in Shanghai urban area. In: Proceedings of the IET Conference on Wireless, Mobile and Sensor Networks, (CCWMSN07), S. 454-457.
- Liu, C.; Li, N.; Huang, M.; Wu, H. (2012): City Routing Velocity Estimation Model under the Environment of Lack of Floating Car Data. In: *Journal of Geographic Information System*, 4 (1), S. 55-61.
- Liu, C.; Meng, X.; Fan, Y. (2008): Determination of Routing Velocity with GPS Floating Car Data and WebGIS-Based Instantaneous Traffic Information Dissemination. In: *The Journal of Navigation*, 61 (2), S. 337-353.
- Liu, L.; Andris, C.; Biderman, A.; Ratti C. (2009): Uncovering Taxi Driver's Mobility Intelligence through His Trace. *IEEE Pervasive Computing*.
- Liu, X.; Ban, Y. (2013): Uncovering Spatio-Temporal Cluster Patterns Using Massive Floating Car Data. In: *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2, S. 371-384.
- Long, J. A.; Nelson, T. A. (2012): A review of quantitative methods for movement data. In: *International Journal of Geographical Information Science*, 27 (2), S. 292-318.
- Lorkowski, S.; Brockfeld, E.; Mieth, P.; Passfeld, B.; Thiessenhusen, K-U.; Schäfer, R-P. (2003): Erste Mobilitätsdienste auf Basis von „Floating Car Data“. In: Beckmann, K. J. (Ed.): *Tagungsband zum 4. Aachener Kolloquium „Mobilität und Stadt“*, 75, S. 93-100.
- Orlando, S.; Orsini, R.; Raffaetà, A.; Roncato, A. (2007): Trajectory Data Warehouses: Design and Implementation Issues. In: *Journal of Computing Science and Engineering (JCSE)*, 1 (2), S. 211-232.
- Shepherd, I. D. H. (2008): Travails in the Third Dimension: a critical evaluation of 3D geographical visualization. In: Dodge, M.; McDerby, M.; Turner, M. (Eds.): *Geographic visualization: concepts, tools and applications*. John Wiley & Sons, Chichester, S. 199-222.
- Sohr, A.; Brockfeld, E.; Krieg, S. (2010): Quality of Floating Car Data. In: Conference Proceedings, paper nr 02392, www.digitalpapers.org. 12th World Conference on Transport Research (WCTR), 11.-15.07.2010, Lissabon, Portugal.
- Stanica, R.; Fiore, M.; Malandrino, F. (2013): Offloading Floating Car Data. Proceedings of the 2013 IEEE 14th International Symposium and Workshops on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), S. 1-9.
- Sun, J.; Wen, H.; Gao, Y.; Hu, Z. (2009): Metropolitan Congestion Performance Measures Based on Mass Floating Car Data. In: Yu, L.; Lai, K.K.; Mishra, S. K. (Eds.): *Proceedings of the Second International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization (CSO 2009)*, Computational Transportation Science, S. 109-113.
- Tanaksaranond, G. (2010): Visualization of Traffic Congestion in Space-Time. In: UCL – STANDARD: Spatio-Temporal Analysis of Network Data and Route Dynamics. <http://standard.cege.ucl.ac.uk/workshops/garavig.html>, Zugriff 1/2014.
- Tominski, C.; Schumann, H.; Andrienko, G.; Andrienko, N. (2012): Stacking-Based Visualization of Trajectory Attribute Data. In: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (Proceedings IEEE Information Visualization 2012)*, 18 (12).
- Turner, E.; Allen, J. P. (2010): Issues in Depicting Population Change with Dot Maps. In: *Cartography and Geographic Information Science*, 37 (3), S. 189-197.
- Zhao, Y.; Qin, Q.; Li, J.; Xie, C.; Chen, R. (2012): Highway map matching algorithm based on floating car data. In: *IGARSS 2012 – IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, THPP: Image Information Extraction: Detection of Man-made Features*, S. 5982-5985.
- Zogg, J.-M. (2007): Interview: Galileo und GPS, kritisch betrachtet. In: *NAVIMagazin (www.navi-magazin.de)*, 2/2007, S. 94-95.